执行功能可塑性：任务转换训练的研究*

王梓宇[1,2]；孔子叶[1,2]；朱荣娟[1,2]；游旭群[1,2]

([1]陕西师范大学心理学院，西安 710062) ([2]陕西省行为与认知重点实验室，西安 710062)

摘　要　任务转换训练是提高个体执行功能的方法之一。学者们采用不同的任务范式进行任务转换训练。研究结果发现，任务转换训练可以降低个体的转换代价、提高其他认知任务的绩效。训练效果可以维持一定的时间。但是，也有研究未发现明显的迁移效果和维持效果。年龄、其他执行成分的参与度、认知灵活性和策略可能会影响训练效果。任务转换训练可能通过提高个体解决任务设置冲突的能力、提高与任务转换相关的额——顶脑网络的参与程度以及建立自下而上的自动控制来提高个体的转换能力。未来研究应当对现有研究方法和程序进行标准化，从执行功能整体与分离的结构特征角度看待任务转换训练，寻找更为灵活的训练手段，如 tDCS 技术。

关键词　转换；执行功能；任务转换训练

1　前言

转换(shifting)、刷新(updating)和抑制(inhibition)被认为是三种相对独立的中央执行功能(Miyake & Friedman, 2012)。其中，转换是从一个认知任务转换到另一个认知任务的过程，强调个体在任务、目标或心理设定之间灵活转换的能力(Collette & Van, 2002)。Jersild (1927)首次采用任务转换范式研究个体的转换加工过程。结果发现，与完成重复任务相比，被试在完成转换任务时的反应时显著较高，出现了时间亏损的现象。这一现象也被称为转换代价(switch cost)。在此基础上，越来越多的学者开始关注转换加工过程，与之相关的基础性研究也越来越多。学者们主要从转换代价及其来源、转换的成分、转换的加工方式、时间间隔与转换代价的关系、转换加工的神经生理机制等多个方面对转换加工过程进行深入的分析和探讨(Kiesel et al., 2010; Koch, Gade, Schuch, & Philipp, 2010; Koch, Poljac, Muller, & Kiesel, 2018; 孙天义, 肖鑫, 郭春彦, 2007)。

执行功能能够有效预测个体的学术成就、社会经济地位和身体健康等(Karbach & Unger, 2014)。因此，如何通过认知训练提高个体的执行功能引起了许多学者的关注(Talanow & Ettinger, 2018)。相关研究涉及各年龄段的健康人群(Guye & Bastian, 2017; Wang, Luo, Shi, Yu,

收稿日期：2018-11-01

* 军队十三五重大课题（AWS17J012）支持

通讯作者：游旭群，E-mail：youxuqun@snnu.edu.cn

& Wang, 2018; Wang & Ku, 2018; 赵鑫, 周仁来, 2014)和特殊人群(Chacko et al., 2014; 潘东旎，李雪冰, 2017)。转换能力作为人们日常生活中较为常用的认知能力之一(孙天义等, 2007; Zhao et al., 2018)，对个体进行多任务操作（尤其是在复杂场景中）具有重要意义。比如，某职员听到电话铃响后停止工作去接电话；某司机在观察前方路况和侧方路况之间不断转换；某飞行员在与空中管理人员交流工作时，仍需要持续监控飞行状态等。因此，转换能力的可训练性问题开始受到学者们的关注。Karbach 和 Kray (2009) 研究表明，任务转换训练可以提高个体的转换能力，同时还可以提高个体的抑制能力、工作记忆能力和流体智力。该研究将任务转换训练与执行功能可塑性联系在一起。在此基础上，越来越多的学者开始探究如何通过任务转换训练提高个体的执行功能(Gaál & Czigler, 2018; Koch et al., 2018; Sabah, Dolk, Meiran, & Dreisbach, 2018; Zhao, Wang, & Maes, 2018)。目前，任务转换训练已经成为提高个体执行功能的方法之一(Pereg, Shahar, & Meiran, 2013)。本文主要从训练范式、训练效果、影响因素和转换能力可塑性的机制四个方面来阐述与任务转换训练有关的研究。

2 训练范式

任务转换范式包括交替转换范式、线索提示范式、指示转换范式和自主转换范式等(Kiesel et al., 2010)。其中，指示转换范式(intermittent-instruction paradigm)是在两个或多个 trial 间出现一个说明或线索，表明下一部分要操作的任务是什么。自主转换范式(voluntary task-switching paradigm)要求被试自主选择任务规则，并对目标刺激做出按键反应(Arrington & Logan, 2004; 蒋浩, 2018)。在任务转换训练过程中，研究者们较多采用交替转换范式或者线索提示范式对个体进行训练。因此，本文主要对这两种训练范式进行介绍。

2.1 交替转换范式

Rogers 和 Monsell (1995)提出交替式转换范式(alternating-runs paradigm，简称 AR-TS)。该任务范式中不同任务以固定序列呈现，比如任务序列为 AABBAABB…，在此任务中，任务规则 A 与 B 每两个交替呈现。被试在执行任务的过程中，不仅需要记住任务规则，还需要记忆任务呈现的序列。许多学者采用交替转换范式对个体进行认知训练。比如，Karbach 和 Kray (2009)要求被试在任务 A 任务 B 之间进行固定序列的任务转换，以此探究认知训练能否提高个体的转换能力以及训练所带来的迁移效果。Kray, Karbach, Haenig 和 Freitag (2011)探究交替式任务转换训练能否增强多动症儿童的执行控制功能。Zinke, Einert, Pfennig 和 Kliegel (2012)采用交替式转换范式探究青少年任务转换训练中执行控制的可塑性。Pereg 等(2013)采用交替式任务转换训练探究该范式中的刷新成分在训练中的作用。

2.2 线索提示范式

线索提示范式(task-cueing paradigm，简称 CUE-TS)是较为常见的任务转换范式之一(Meiran, 1996)。该实验范式的任务序列是随机呈现的，为了让被试明确将要完成的任务类型，在执行每个 trial 时都会出现线索提示，如颜色或文字。线索可能和刺激同时出现，也可能出现在刺激之前。有许多学者采用线索提示范式对个体进行转换能力的训练，并且大部分情况下线索提示和刺激是同时呈现的。比如，Tayeb 和 Lavidor (2016) 要求被试在蓝色背景下判断数字的大小(大于 5 还是小于 5)，在灰色背景下判断数字的奇偶，并探究 tDCS 刺激背外侧前额叶皮层能否提高任务转换训练的转换绩效。Gaál 和 Czigler (2018) 要求被试在黄色或橘色线索下判断字母是元音还是辅音，在绿色或蓝色线索提示下判断数字是奇数还是偶数，以此探究线索转换范式下的认知训练效果。

2.3 任务转换类型之间的差异

任务转换范式可以分为可预测的任务转换范式和不可预测的任务转换范式。交替转换范式由于其任务顺序是固定的，被认为是一种可预测的任务转换范式。与之相对的，线索提示范式(线索和刺激同时出现)则是一种不可预测的任务转换范式(邓玉琴, 王艳, 丁晓茜, 唐一源, 2015)。可预测的转换任务和不可预测的转换任务在认知加工方式上存在差异。任务转换包括内源性准备(endogenous preparation)和外源性调节(exogenous adjustment)两个过程(郭春彦, 孙天义,2007)。在可预测条件下，个体需要对任务设置进行重构。任务设置重构包括两个阶段(Kiesel et al., 2010; Rogers & Monsell, 1995)。第一阶段在新刺激出现之前，个体抑制先前的任务设置(task set)并激活当前的任务设置。这一过程称被称为内源性准备过程。第二阶段在新刺激呈现时，新刺激触发个体改变先前的反应规则、转换到当前任务的反应规则并执行反应，这一过程被称作外源性调节。因此，可预测条件下任务的转换包括内源性准备和外源性调节两个过程。在不可预测条件下，由于任务序列的未知性，个体无法在刺激出现前对任务进行准备，只有当新刺激出现时，才能做出相应的规则转变并执行反应。因此，不可预测条件下任务的转换主要依靠外源性调节来完成(孙天义, 许远理, 郭春彦, 2011)。

同时，有研究表明不同的认知加工方式可能涉及不同脑区的独立加工(Sohn, Ursu, Anderson, Stenger, & Carter, 2000)。因此，不同类型的转换任务激活的脑区之间存在差异。Dreher, Koechlin, Ali 和 Grafman (2002)采用功能磁共振成像技术探究不同类型转换任务的脑机制。结果发现，可预测序列任务激活了右侧海马，内侧前额叶皮层和后扣带皮层；不可预测序列任务激活了双侧内侧顶叶皮层，而刺激出现时间固定的随机序列任务激活了右侧小

脑。此外，研究还发现当任务顺序和时间顺序都可预测时，左额叶皮层更活跃，当任务顺序和时间顺序都不可预测时，前额叶外侧皮质更活跃。孙天义等(2011) 采用任务转换实验范式探究可预测和不可预测条件下任务转换的 ERPs 证据。结果发现，在可预测条件下，任务转换先后单独由颞区和顶区负责，其中内源性准备源于左侧颞区，外源性调节源于右侧顶区。在不可预测条件下，任务转换则同时激活左侧额区和右侧额区，这也说明外源性调节对应的脑区在可预测条件和不可预测条件下是分离的。Kim, Johnson, Cilles 和 Gold (2011)对不同类型的任务转换的脑影像进行元分析，结果发现刺激型的转换加工激活了前运动皮层和背侧前扣带回；反应型的转换加工主要激活了前额叶中间部分的左侧背外侧前额叶和背侧前扣带回的喙部；前额叶皮层的前部则参与认知定势类型的转换加工。Kim, Cilles, Johnson 和 Gold (2015)采用脑区激活似然评估方法，收集了 36 项任务转换的脑影像研究中的 562 个任务激活脑区的坐标，结果发现感知型任务转换激活前运动皮层的背侧部；背景型任务转换激活额极皮层，包括 BAl0 区的外侧和内侧前额叶皮层；反应型任务转换和背景型任务转换都激活了背外侧前额叶皮层。这些结果也证明了任务转换加工是不同脑区协调加工的结果，并且不同类型的转换任务参与的脑区不同。

从认知训练的角度来看，可预测的转换任务和不可预测的转换任务所引起的训练效果之间可能存在差异。比如，Minear 和 Shah (2008)将 93 名被试随机分为可预测训练组、不可预测训练组和控制组。研究发现，与不可预测训练组相比，可预测训练组的转换代价显著下降。同时，可预测训练组和不可预测组均表现出显著的近迁移效应。但是，可预测组表现为相似任务的转换代价显著下降，而不可预测训练组表现为相似任务的混合代价显著下降。但是，也有学者未发现任务类型不同所带来的训练效果之间的差异。比如，Sabah 等(2018)研究表明不同任务类型的训练在降低转换代价和提高迁移效果上并没有起到中介作用。此外，有研究发现对可预测转换任务(交替示转换范式)进行训练时，其训练效果并不能迁移到不可预测的转换任务中去(Pereg et al., 2013)。这一研究结果也说明了可预测的任务转换和不可预测的任务转换在认知结构和加工过程上存在差异。

2.4 tDCS 与转换训练

以往的任务转换训练大多采用前测—训练—后测设计的认知和行为训练方式(Gaál & Czigler, 2018; Karbach & Kray, 2009; Kray & Feher, 2017)。近年来，经颅直流电刺激技术(transcranial direct current stimulation, 简称 tDCS)也被运用于认知可塑性研究中(Strobach & Antonenko, 2016)。经颅直流电刺激技术是一种非侵入性的，利用恒定、低强度直流电(1~2

mA)调节大脑皮层神经元活动的技术，可通过调节弱电流流动的极性来增加或减少大脑的兴奋性。有研究表明，短期的经颅直流电刺激会影响个体的转换能力(Nejati, Salehinejad, Nitsche, Najian & Javadi, 2017；Leite, Carvalho, Fregni, Boggio & Goncalves, 2013)。Nejati 等(2017)采用强度为 1mA 的 tDCS 刺激 ADHD 儿童背外侧前额叶皮层和眶额皮层 15 分钟后，发现阳性刺激左侧背外侧前额叶皮层阴性刺激右侧眶额皮层时，儿童在完成 WCST 测试中的成绩得到显著提高。Leite 等 (2013)对 16 名被试的双侧背外侧前额叶皮层进行 tDCS 刺激，并要求他们完成字母/数字命名和元音辅音/奇偶判断两种转换任务。结果发现，tDCS 刺激位置会影响个体的任务转换能力。在字母/数字命名任务中，左侧阳性刺激右侧阴性刺激提高了转换绩效，同时左侧阴性刺激右侧阳性刺激提高了正确率。在元音辅音/奇偶判断任务中，左侧阳性刺激右侧阴性刺激提高了正确率，但是降低了转换绩效。该研究结果表明背外侧前额叶皮层与转换加工之间存在因果关系，且在一定程度上证明了背外侧前额叶皮层在转换任务上存在偏侧化效应。其次，一些学者采用长期的经颅直流电刺激以期提高个体的转换能力。Huo 等(2018)采用 tDCS 技术刺激健康老年人的左侧背外侧前额叶皮层(每天 30 分钟，连续刺激 10 天)，并在刺激前、刺激后和三个月后分别测试个体的刷新、抑制和转换能力，探究长期的 tDCS 刺激是否会提高老年人的执行功能。结果表明，长期 tDCS 刺激并不能提高老年人的执行功能。该研究结果指出单纯的 tDCS 刺激并不能改善个体的执行功能，只有脑刺激和行为训练相结合的方式才有可能提高个体的认知能力。Tayeb 和 Lavidor (2016)将被试分为左侧阳性刺激右侧阴性刺激(LA-RC)组、左侧阴性刺激右侧阳性刺激(LC-RA)组和伪刺激组，在进行刺激的同时要求被试在蓝色线索下判断数字的大小，在灰色线索下判断数字的奇偶。经过一周的训练后发现，与伪刺激条件相比，真刺激组转换能力通过训练得到显著提高，尤其是 LA-RC 组的转换代价得到显著降低。该研究结果表明脑刺激和行为训练相结合的方式能够有效提高个体的转换能力，同时再次证明背外侧前额叶皮层在转换任务上存在偏侧化效应。

3 训练效果

3.1 训练效果评估

对任务转换训练效果的评估主要包括对训练本身的评估，以及对训练带来的近迁移和远迁移效果的评估。其中，研究者多采用与训练内容不同的交替范式任务(Kray & Feher, 2017)和线索提示任务(Pereg et al., 2013; Zinke et al., 2012)测量转换能力和近迁移效果。对于远迁移效果的评估，研究者则多考虑对抑制能力、刷新能力、工作记忆以及流体智力等进行评估。

一般来说，研究者主要会采用 stroop 任务(Karbach & Kray, 2009)、Flanker 任务(Zinke et al., 2012)和 go/no-go 任务(Brocki & Tillman, 2014)等测量抑制能力，采用 n-back 任务(Kray & Feher, 2017)测量刷新能力，同时通过阅读广度任务、计数广度任务、数字排序测试、数字逆序任务等测量工作记忆，通过矩阵推理测试(Kray et al., 2011; Sabah et al., 2018)和瑞文推理测验(Kray & Feher, 2017)测量流体智力。

3.2 迁移效果

大部分研究结果均表明任务转换训练可以降低个体的转换代价(Baniqued et al., 2015; Strobach, Liepelt, Schubert, & Kiesel, 2012; Tayeb & Lavidor, 2016)。与此同时，研究者还发现通过训练，未经过训练的转换任务绩效(近迁移效应)得以提升(Minear & Shah, 2008; Karbach & Kray, 2009; Buitenweg, Murre, & Ridderinkhof, 2012; Kray & Feher, 2017; Gaál & Czigler, 2018; Zhao et al., 2018)，个体的抑制能力、刷新能力、工作记忆容量和流体智力也可能得到提高(远迁移效应)。具体来说，有学者在研究中发现了较为广泛的远迁移效应(Anguera et al., 2013; Karbach & Kray, 2009; Kray et al., 2011)。比如，Karbach 和 Kray (2009)研究发现任务转换训练表现出显著的远迁移效应，在 Stroop 任务、言语和空间工作记忆以及推理等流体智力上都得到了提高。Kray 等(2011)在临床人群中也获得了相似的结果。Kray 等对 20 名多动症儿童进行任务转换训练，结果发现任务转换训练提高了儿童的抑制能力和言语工作记忆能力。但是，也有研究发现任务转换训练只能得到有限的迁移效果(Zinke et al., 2012; Pereg et al., 2013; Kray & Feher, 2017; Zhao et al., 2018)。比如，Zinke 等(2012)研究发现任务转换训练显著降低未经训练的结构相似的转换任务的混合代价，在选择反应时任务和刷新任务上表现出有限的远迁移效应，对抑制控制几乎没有影响。Pereg 等(2013)研究同样发现被试只对结构相同的转换任务表现出近迁移效应，但是，在抑制任务和选择反应时任务等未表现出明显的远迁移效应。Zhao 等(2018)在实验中发现线索刺激时间间隔较短(300ms 和 600ms)的任务转换训练可以显著降低个体的转换代价，并带来近迁移效应。但是，任务转换训练未表现出任何远迁移效应，对个体的干扰控制、反应抑制、工作记忆和智商均没有显著影响。

3.3 维持效果

维持效果是认知训练有效性的衡量标准之一。Brehmer, Westerberg 和 Bäckman (2012)对 55 名年轻人(20~30 岁)和 45 名老年人(50~70 岁)进行为期 5 周的多任务工作记忆训练。结果发现，训练 3 个月后依然可以观察到显著的迁移效果。Tennstedt 和 Unverzagt (2013)对 2802 名老年人(65 岁及以上)进行为期 5~6 周的认知训练，包括记忆训练、推理训练和速度训练。

结果发现，训练组的训练效果维持时间长达 1~2 年。同时，5 年和 10 年的随访表明训练组在日常生活中的功能比对照组更好。上述研究均是探讨认知训练的维持效果及其积极作用。但是，这些研究所涉及的训练任务较多或较为复杂，即使在训练过程中涉及到转换能力的训练，也较为笼统。因此，有学者以转换任务作为认知训练任务，探究任务转换训练的维持效果(Gaál & Czigler, 2018; Kray & Feher, 2017)。比如，Gaál 和 Czigler (2018) 采用线索提示范式对 39 名年轻女性(18~25 岁)和 40 名老年女性(60~75 岁)进行为期 8 小时的难度自适应任务转换训练。结果发现，训练后个体表现出显著的近迁移效果和部分远迁移效果(在转换范式变体以及警报和定向网络等执行方面有所改善)，并且这种变化在 1 年后仍然保持不变。Kray 和 Feher (2017)将 81 名年轻人和 82 名老年人分为有线索-单阶刺激组、有线索-模糊刺激组、无线索-单阶刺激组和无线索-模糊刺激组。每组被试进行 4 次任务转换训练，每次训练时长 30~40 分钟。结果发现，各年龄段的被试均表现出显著的近迁移效果和有限的远迁移效果。但是，只有模糊刺激组的老年人训练效果可以维持 6 个月。总的来说，目前任务转换训练的维持效果相关研究较少，鉴于维持效果对解释认知训练有效性具有重要意义，未来研究应当重视此方面的调查。

4 迁移和维持效果的影响因素

在任务转换训练过程中，任务设置(训练范式、训练时间)和评估手段的差异均可能引起迁移效果和维持效果的差异(Zhao et al., 2018)。除此之外，年龄、其他成分的参与度、任务可变性以及策略等也可能会影响任务转换训练的效果。

4.1 年龄

多项研究表明，对儿童和老年人进行任务转换训练后其训练效果比年轻人更加明显(Karbach & Kray, 2009; Karbach & Unger, 2014; Kray & Feher, 2017; Gaál & Czigler, 2018)。但是，当儿童在进行训练内容变化的任务时，却会表现出较少的迁移效果，这可能是因为内容变化的训练任务意味着认知负荷的增加，儿童没有足够的处理能力来完成认知任务并提高能力，从而影响了训练效果(Karbach & Kray, 2009; Kray, Gaspard, Karbach, & Blaye, 2013)。此外，儿童初始的执行功能水平和儿童护理人员的执行功能水平也可能会影响训练效果(Blair, 2016)。Kray 和 Feher (2017)研究发现与年轻人相比，老年人在转换到新的未经训练的任务上有更大的改善。Gaál 和 Czigler (2018)采用信息性提示转换任务对被试进行认知训练，发现经过训练老年人的非信息性提示转换任务和颜色/形状转换任务的转换绩效提升更为明显。根据补偿账户理论假设(the compensation account)(Karbach & Unger, 2014)，表

现好的人从认知干预中获益较少，因为他们已经达到最佳水平，提高的余地就较小。因此，基线认知水平应该与训练收益呈负相关关系，年轻人的基线认知水平较高，通过训练所获得的收益相对于认知衰退的老年人来说较不明显。因此，研究者可以通过认知干预提高老年人的认知水平。

4.2 其他执行功能成分的参与度

相对于其他认知训练只能带来有限的迁移效果，任务转换训练能够带来相对较为广泛的迁移效果(Melby-Lervåg & Hulme, 2013; Shipstead, Redick, & Engle, 2012)。这是由于任务转换本身需要多种执行控制能力的参与(Kiesel et al., 2010；Karbach & Unger, 2014; Gaál & Czigler, 2018)，如对注意的维持、任务设置的重构、刷新任务目标或刺激-反应映射、对任务规则的选择加工和抑制等(Yeung, Nystrom, Aronson, & Cohen, 2006)。因此，在任务转换训练中，训练材料的选取会使得其他成分不同程度的参与到训练中，这可能是影响迁移效果的原因之一。Kray 和 Feher (2017)控制转换训练中的抑制需求(通过刺激的模糊程度)和工作记忆需求(是否使用提示)，探究这两个成分在任务转换训练中的地位。结果发现，抑制需求和工作记忆需求与转换能力的提高无关。但是，在迁移效果上，高抑制需求训练下的老年人表现出更为明显的近迁移效果，并可以维持 6 个月以上，这表明解决两个竞争任务之间的干扰所需的控制过程是引起老年人迁移效应的关键(Anguera et al., 2013)。此外，Zinke 等(2012)研究发现，经过训练后，个体在选择反应时任务和刷新任务上表现出有限的远迁移效应，这一结果暗示刷新可能与任务转换训练效果有密切的关系。Pereg 等(2013)采用交替式转换范式对个体进行任务转换训练。结果发现，被试只对结构完全相同的交替转换范式任务表现出近迁移效应，同时与刷新有关的迁移任务为未表现出远迁移效应。他们指出任务转换训练(交替式转换范式)涉及工作记忆刷新成分，但是该成分的参与度不高。换言之，若某成分(如抑制)在任务转换训练中的参与度较高，则可能对其训练效果产生较大影响；反之，若某成分(如刷新)在任务转换训练中的参与度角度，则可能不会对其训练效果产生较大影响。同时，从执行功能整体与分离的结构特征角度出发(Miyake & Friedman, 2012)，任务转换训练是多个执行功能成分参与的过程，对多种执行功能的训练能够更好的迁移到其他执行和认知任务中去。

4.3 任务可变性

从进化的角度来看，个体在变化的环境中学习更为有效，因为变化的环境可以促进人的灵活性，有助于规则的学习，并可以通过前额皮质的中介作用将学到的技能和知识转移到新

的环境中去(Cole, Etzel, Zacks, Schneider, & Braver, 2011)。因此，可变性(variability)可能是使得认知训练产生广泛迁移效应的影响因素之一。比如，Karbach 和 Kray (2009) 研究发现当训练的任务内容变化时，儿童训练后所引起的迁移效果较少，而在成人中则表现出较为广泛的迁移效果。Sabah 等(2018)采用短期任务转换训练的方式，探究了任务内容和任务序列的可变性对训练结果的影响。研究发现在学习阶段，内容固定的任务比内容可变的任务训练收益更快。但是，在完成未经过训练的转换任务时，与内容固定的训练组相比，内容可变的训练组转换代价显著较低，训练效果更加明显。这些结果表明任务内容可变性是提高正向迁移和避免负向迁移的手段之一。

4.4 策略

有学者试图探究言语自我指导(verbal self-instructions，简称 VSI)与任务转换训练之间的关系，如 Karbach, Mang 和 Kray (2010)探究语言自我指导对老年人任务转换训练迁移效果的影响。结果发现在转换任务训练的过程中 VSI 没有起到实质性的作用，但是在后测时 VSI 显著降低了个体的转换代价。Kray 等 (2013)探究言语自我提示在儿童(8~13 岁)任务转换训练中的作用。研究同样发现，言语自我指导只能提高经过任务转换训练后的儿童的近迁移效果。这些研究说明言语策略训练的转移具有限制性，似乎对已经经过良好训练的转换能力有更好的辅助效果。Zinke 等(2012)探究在任务转换训练之前进行剧烈运动是否可以增强训练效果。研究结果并没有发现剧烈运动对训练效果有任何增强作用。此外，在任务训练过程中，个体可能会采用不恰当的策略来提高反应速度，如只对刺激组合中的一部分进行定向的策略，即只关注字母(或者数字)就可以做出正确判断(Gaál & Czigler, 2018)。

5 转换功能可塑性的机制

工作记忆中央执行系统三大功能是抑制功能、刷新功能和转换功能(Miyake & Friedman, 2012)。已有学者对抑制功能和刷新功能可塑性的机制进行了总结和分析(赵鑫，陈玲，张鹏，2015；赵鑫，徐伊文婕，霍小宁，2016；刘春雷，周仁来，2012)。因此，本文主要从认知加工过程、脑活动和自动控制的角度分析转换功能可塑性的机制。

任务转换训练可以通过提高个体有意识的认知控制能力改善转换能力。从转换任务的认知加工过程来看，任务转换训练可以提高个体解决任务设置冲突的能力，进而表现出转换绩效的改善。Minear 和 Shah(2008)研究发现，任务转换训练后个体的混合代价得到显著降低。他们指出一次转换使得两种任务设置均处于激活状态，因此任务设置之间的竞争显得尤为激烈，任务转换训练可能会通过增强注意控制来解决这种冲突，使得个体的混合代价显著

降低。从脑活动的角度来看，任务转换训练可能会提高与任务转换相关的额—顶脑网络的参与程度，尤其是前额叶皮层等需要意识参与的认知控制加工脑区(赵鑫等，2015)，进而改善转换绩效。比如，Gaál 和 Czigler (2018) 研究发现，仅 8 小时的任务转换训练就可以改变个体的 P3b 成分和 N2 成分。Olfers 和 Band (2018)研究发现，认知灵活性训练后个体 N2 振幅显著变大。这些研究结果均说明训练对个体有意识的认知控制产生了一定的作用。此外，Tayeb 和 Lavidor (2016)研究发现激活前额叶皮层并进行认知训练，能够显著提高个体的转换能力。该研究结果也证明了认知控制相关脑区的参与在任务转换训练中的积极作用。同时，赵鑫等(2015)指出抑制训练可以通过自上而下有意识的抑制控制模式提高训练效果。赵鑫等(2016)认为刷新训练可以通过改变脑区激活模式和大脑结构提高个体的心理机能。由此可见，中央执行系统三大功能可塑性均与脑活动(尤其是额叶皮层)有着密不可分的关系。其次，任务转换训练也可能通过建立自下而上的自动控制来提高个体的转换能力。一些研究表明在对被试进行不可预测的任务转换训练后，他们的转换绩效得到不同程度的提高(Minear & Shah，2008；Kray & Feher, 2017；Sabah et al., 2018；Gaál & Czigler, 2018)。由上文可知，不可预测的转换任务是由外部刺激引起的，主要依靠外源性调节来完成。因此，这些研究结果在一定程度上暗示着个体在面对新刺激时，改变先前的反应规则、转换到当前任务的反应规则并执行反应等与自动控制相关的能力得以提高，进而表现为转换能力的改变。

总的来说，与任务转换训练可塑性机制相关的研究和讨论相对较少，许多问题还未取得确定性成果。比如，任务转换训练会引起哪些脑区域的何种改变？脑活动改变发生在训练的哪些阶段？此外，转换代价也可能来自于任务设置的惯性，那么认知训练是否可能通过缩短惯性存在的时间进而改善转换能力？等等。因此，转换功能可塑性的机制仍然需要研究者们更为深入的研究。

6　总结与展望

任务转换训练被认为是提高个体执行控制能力的方法之一。但是，许多学者对其功效提出质疑。大量研究表明任务转换训练能够有效降低个体的转换代价，提高结构相似的、未经过训练的转换任务绩效。但是，在任务转换训练的远迁移效果上存在较大的争议。有的学者通过任务转换训练发现了广泛的远迁移效果(Karbach & Kray, 2009)；有的学者发现了有限的远迁移效果(Pereg et al., 2013)；有的学者没有发现任何远迁移效果(Zhao et al., 2018)。这可能与各学者在研究中所采用的任务设置(训练范式、训练内容和材料和训练时长)和效果评估手段不同导致的(Shipstead et al., 2012)。比如，Sabah 等(2018)通过实验探究不同任务转换范式与训练效果之间的关系。但是，总的来说，不同的训练范式、训练内容和训练时长对训练效

果到底会造成怎样的影响并没有得到较好的解释。因此，未来学者们应当开展此方面的研究，在此基础上，将现有的研究方法、训练程序和评估程序进行标准化，以提高训练和评估的有效性。

其次，训练带来的迁移和维持效果是训练的最终目标。目前，许多学者比较关注任务转换训练带来的迁移效果。但是，与任务转换训练的维持效果相关的研究较少(Gaál & Czigler, 2018; Kray & Feher, 2017)。因此，未来的研究应当重视此方面的调查。同时，学者们还应当研究什么样的训练手段可以有效提高转换训练所带来的迁移和维持效果，如提高任务内容的可变性(Sabah et al., 2018)、恰当的策略应用 (Karbach et al., 2010) 或者将神经反馈调节等学习方法运用到训练中(Enriquez-Geppert, Huster, Figge, & Herrmann, 2014)。此外，采用电刺激技术与行为训练相结合的方式缩短训练时间提高训练效果等也是值得考虑的方向(Tayeb & Lavidor, 2016)。目前，采用电刺激技术与行为训练相结合的方式探究任务转换训练的研究较少(Strobach & Antonenko, 2017)，在该方面依然存在很多空白的部分值得研究者探索。具体来说，关于 tDCS 和任务转换训练相关的研究大多将额叶作为刺激脑区，探究短期或长期的 tDCS 刺激能否改善个体的转换能力。对于电刺激和行为训练相结合的训练方式的训练效果以及如何有针对性的在不同年龄群体中开展相关研究并未涉及。因此，未来研究还可以关注(1)tDCS 刺激的脑区。如，刺激哪个(哪些)脑区能够有效提高个体的转换能力？如何将 tDCS 技术与行为训练更好的结合起来？不同训练范式之间是否存在差异性？(2)训练效果。如，长期的 tDCS 和行为相结合的训练方式是否可以缩短训练时间、提高训练的迁移和维持效果？(3)tDCS 在不同年龄群体中的作用。如 tDCS 技术在老年人中的使用效果是否更为明显？(4)参数的设置。如同一参数对不同年龄、不同性别的个体其作用是否存在差异？在线(on line)的 tDCS 和离线(off line)的 tDCS 其效果是否存在差异？这些问题都需要研究者进行更为深入的研究。

其三，转换加工的过程涉及多种执行成分，如对注意的维持、任务设置的重构、刷新任务目标或刺激-反应映射、对任务规则的选择加工和抑制等(Yeung et al., 2006)。从训练的过程来说，转换训练不可避免的对其他执行成分进行了训练，任务转换训练并不单纯是对个体转换能力的训练。因此，任务转换训练的作用机制是什么？训练所表现出的迁移效果是否是由于转换能力本身的提高所带来的？转换能力是否在其中占据主导地位？这些问题需要更深入的探讨(Gaál & Czigler, 2018)。此外，不可否认的是，那些高抑制需求的任务转换训练的确提高了训练所带来的迁移和维持效果(Kray & Feher, 2017)。换句话说，多执行功能参与

的训练能否更好的提升行为和大脑的可塑性(Shipstead et al., 2012)。在未来的研究中，学者们应当从执行功能整体与分离的结构特征角度出发(Miyake & Friedman, 2012)，更全面的看待任务转换训练。

其四，特殊人群(ADHD、精神分裂症、抑郁、焦虑、成瘾障碍和自闭症等患者)往往伴随不同性质和程度的认知缺损(潘东旎, 李雪冰, 2017)，工作记忆训练能够显著缓解其症状。目前，对特殊人群工作记忆的训练研究较多(Chacko et al., 2014; 潘东旎, 李雪冰, 2017; Nejati et al., 2017)。但是，采用转换任务训练特殊人群的研究相对较少。比如，Kray 等(2011)研究表明，短时间的任务转换训练能够有效降低 ADHD 患者的转换代价、增强其抑制控制能力和言语工作记忆能力。因此，未来研究仍然需要深入探讨任务转换训练对 ADHD 患者的作用机制和维持效果。同时，还应关注任务转换训练在其他特殊人群中的应用。

综上所述，转换能力是人们日常生产生活中必不可少的认知能力之一。任务转换训练能够有效的提高个体的转换能力。同时，具有相对较为广泛的迁移效果。因此，学者们应当重视对任务转换训练的研究，将研究成果更好的应用于教育教学、人员选拔和培训等更广阔的领域中去。

参考文献

邓玉琴, 王艳, 丁晓茜, 唐一源. (2015). 执行控制研究方法概述. *中国健康心理学杂志*, 23(2), 304–307.

郭春彦, 孙天义. (2007). 工作记忆中转换加工的内源性准备和外源性调节. *心理学报, 39*(6), 985–993.

蒋浩. (2018). 自主任务转换中的重构和干扰. *心理科学进展, 26*(9), 1624–1631.

刘春雷, 周仁来. (2012). 工作记忆训练对认知功能和大脑神经系统的影响. *心理科学进展, 20*(7), 1003–1011.

潘东旎, 李雪冰. (2017). 工作记忆训练在精神疾病中的应用. *心理科学进展, 25*(9), 1527–1543.

孙天义, 肖鑫, 郭春彦. (2007). 转换加工研究回顾. *心理科学进展, 15*(5), 761–767.

孙天义, 许远理, 郭春彦. (2011). 任务转换的多脑区作用机制:来自 ERP 的证据. *中国科学: 生命科学*, 41(11), 1121–1133.

赵鑫, 陈玲, 张鹏. (2015). 反应抑制的训练:内容、效果与机制. *心理科学进展, 23*(1), 51–60.

赵鑫, 徐伊文婕, 霍小宁. (2016). 刷新功能的训练:内容、效果与机制. *中国临床心理学杂志, 24*(5), 808–813.

赵鑫, 周仁来. (2014). 基于中央执行功能的儿童工作记忆可塑性机制. *心理科学进展, 22*(2), 220–226.

Anguera, J. A., Boccanfuso, J., Rintoul, J. L., Al-Hashimi, O., Faraji, F., Janowich, J., . . . Gazzaley, A. (2013). Video game training enhances cognitive control in older adults. *Nature, 501*(7465), 97-101.

Arrington, C. M., & Logan, G. D. (2004). The cost of a voluntary task switch. *Psychological Science, 15*(9), 610–615.

Baniqued, P. L., Allen, C. M., Kranz, M. B., Johnson, K., Sipolins, A., Dickens, C., . . . Kramer, A. F. (2015). Working memory, reasoning, and task switching training: Transfer effects, limitations, and great expectations? *PLoS One, 10*(11).

Blair, C. (2016). Developmental science and executive function. *Current Directions in Psychological Science, 25*(1), 3–7.

Brehmer, Y., Westerberg, H., & Bäckman, L. J. (2012). Working-memory training in younger and older adults: Training gains, transfer, and maintenance. *Frontiers in Human Neuroscience, 6*(63).

Brocki, K. C., & Tillman, C. (2014). Mental set shifting in childhood: The role of working memory and inhibitory control. *Infant and Child Development, 23*(6), 588–604.

Buitenweg, J. I. V., Murre, J. M. J., & Ridderinkhof, K. R. (2012). Brain training in progress: A review of trainability in healthy seniors. *Frontiers in Human Neuroscience, 6*(183).

Chacko, A., Bedard, A. C., Marks, D. J., Feirsen, N., Uderman, J. Z., Chimiklis, A., . . . Zwilling, A. (2014). A randomized clinical trial of cogmed working memory training in school-age children with ADHD: A replication in a diverse sample using a control condition. *Journal of Child Psychology and Psychiatry, 55*(3), 247–255.

Cole, M. W., Etzel, J. A., Zacks, J. M., Schneider, W., & Braver, T. S. (2011). Rapid transfer of abstract rules to novel contexts in human lateral prefrontal cortex. *Frontiers in Human Neuroscience, 5*(142).

Collette, F., & Van, d. L. M. (2002). Brain imaging of the central executive component of working memory. *Neuroscience & Biobehavioral Reviews, 26*(2), 105–125.

Dreher, J. C., Koechlin, E., Ali, S. O., & Grafman, J. (2002). The roles of timing and task order during task switching. *Neuroimage, 17*(1), 95–109.

Enriquez-Geppert, S., Huster, R. J., Figge, C., & Herrmann, C. S. (2014). Self-regulation of frontal-midline theta facilitates memory updating and mental set shifting. *Frontiers in Behavioral Neuroscience, 8*(420).

Gaál, Z. A., & Czigler, I. (2018). Task-switching training and transfer. *Journal of Psychophysiology, 32*(3), 106–130.

Guye, S., & Bastian, C. C. V. (2017). Working memory training in older adults: Bayesian evidence supporting the absence of transfer. *Psychology and Aging, 32*(8), 732–746.

Huo, L., Zheng, Z., Li, J., Wan, W., Cui, X., Chen, S., . . . Li, J. (2018). Long-term transcranial direct current stimulation does not improve executive function in healthy older adults. *Frontiers in Aging Neuroscience, 10*(298).

Jersild, A. T., (1927). Mental set and shift. *Archives of Psychology,* 81–89.

Karbach, J., & Kray, J. (2009). How useful is executive control training? Age differences in near and far transfer of task-switching training. *Developmental Science, 12*(6), 978–990.

Karbach, J., Mang, S., & Kray, J. (2010). Transfer of task-switching training in older age: The role of verbal processes. *Psycholoy Aging, 25*(3), 677–683.

Karbach, J., & Unger, K. (2014). Executive control training from middle childhood to adolescence. *Frontiers in Psychology, 5*(390).

Kiesel, A., Steinhauser, M., Wendt, M., Falkenstein, M., Jost, K., Philipp, A. M., & Koch, I. (2010). Control and interference in task switching--a review. *Psychological Bulletin, 136*(5), 849–874.

Kim, C., Cilles, S. E., Johnson, N. F., & Gold, B. T. (2015). Domain general and domain preferential

brain regions associated with different types of task switching: A meta-analysis. *Human Brain Mapping, 33*(1), 130–142.

Kim, C., Johnson, N. F., Cilles, S. E., & Gold, B. T. (2011). Common and distinct mechanisms of cognitive flexibility in prefrontal cortex. *Journal of Neuroscience, 31*(13), 4771–4779.

Koch, I., Gade, M., Schuch, S., & Philipp, A. M. (2010). The role of inhibition in task switching: A review. *Psychonomic Bulletin and Review, 17*(1), 1–14.

Koch, I., Poljac, E., Muller, H., & Kiesel, A. (2018). Cognitive structure, flexibility, and plasticity in human multitasking-An integrative review of dual-task and task-switching research. *Psychological Bulletin, 144*(6), 557–583.

Kray, J., & Feher, B. (2017). Age differences in the transfer and maintenance of practice-induced improvements in task switching: The impact of working-memory and inhibition demands. *Frontiers in Psychology, 8*(410).

Kray, J., Gaspard, H., Karbach, J., & Blaye, A. (2013). Developmental changes in using verbal self-cueing in task-switching situations: The impact of task practice and task-sequencing demands. *Frontiers in Psychology, 4*(940).

Kray, J., Karbach, J., Haenig, S., & Freitag, C. (2011). Can task-switching training enhance executive control functioning in children with attention deficit/-hyperactivity disorder?. *Frontiers in Human Neuroscience, 5*(180).

Leite, J., Carvalho, S., Fregni, F., Boggio, P. S., & Goncalves, O. F. (2013). The effects of cross-hemispheric dorsolateral prefrontal cortex transcranial direct current stimulation (tDCS) on task switching. *Brain Stimulation, 6*(4), 660–667.

Meiran, N. (1996). Reconfiguration of processing mode prior to task performance. *Journal of Experimental Psychology-Learning Memory and Cognition, 22*(6), 1423–1442.

Melby-Lervåg, M., & Hulme, C. (2013). Is working memory training effective? A meta-analytic review. *Developmental Psychology, 49*(2), 270–291.

Minear, M., & Shah, P. (2008). Training and transfer effects in task switching. *Memory Cognition, 36*(8), 1470–1483.

Miyake, A., & Friedman, N. P. (2012). The nature and organization of individual differences in executive functions: Four general conclusions. *Current Direction in Psychological Science, 21*(1), 8–14.

Nejati, V., Salehinejad, M. A., Nitsche, M. A., Najian, A., & Javadi, A. H. (2017). Transcranial direct current stimulation improves executive dysfunctions in ADHD: Implications for inhibitory control, interference control, working memory, and cognitive flexibility. *Journal of Attention Disorders*, 1–16.

Olfers, K. J. F. , & Band, G. P. H. . (2018). Game-based training of flexibility and attention improves task-switch performance: Near and far transfer of cognitive training in an EEG study. *Psychological Research, 82*(1),186–202.

Pereg, M., Shahar, N., & Meiran, N. (2013). Task switching training effects are mediated by working-memory management. *Intelligence, 41*(5), 467–478.

Rogers, R. D., & Monsell, S. D. (1995). Costs of a predictable switch between simple cognitive tasks. *Journal of Experimental Psychology General, 124*(2), 207–231.

Sabah, K., Dolk, T., Meiran, N., & Dreisbach, G. (2018). When less is more: costs and benefits of varied vs. fixed content and structure in short-term task switching training. *Psychological Research*. 1–12.

Shipstead, Z., Redick, T. S., & Engle, R. W. (2012). Is working memory training effective? *Psychological Bulletin, 138*(4), 628–654.

Sohn, M. H., Ursu, S., Anderson, J. R., Stenger, V. A., & Carter, C. S. (2000). The role of prefrontal cortex and posterior parietal cortex in task switching. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America, 97*(24), 13448–13453.

Strobach, T., & Antonenko, D. (2017). tDCS-induced effects on executive functioning and their cognitive mechanisms: A review. *Journal of Cognitive Enhancement, 1*(1), 49–64.

Strobach, T., Liepelt, R., Schubert, T., & Kiesel, A. J. P. R. (2012). Task switching: Effects of practice on switch and mixing costs. *Psychological Research, 76*(1), 74–83.

Talanow, T., & Ettinger, U. (2018). Effects of task repetition but no transfer of inhibitory control training in healthy adults. *Acta Psychologica, 187*, 37-53.

Tayeb, Y., & Lavidor, M. (2016). Enhancing switching abilities: Improving practice effect by stimulating the dorsolateral prefrontal cortex. *Neuroscience, 313*, 92–98.

Tennstedt, S. L., & Unverzagt, F. W. (2013). The ACTIVE study: Study overview and major findings. *Journal of aging and health, 25*(8), 3–20.

Wang, H. H., Luo, Y. D., Shi, B., Yu, F. Q., & Wang, K. (2018). Excitation of the right dorsolateral prefrontal cortex with transcranial direct current stimulation influences response inhibition. *Acta Psychologica Sinica, 50*(6), 647–654.

Wang, S., & Ku, Y. (2018). The causal role of right dorsolateral prefrontal cortex in visual working memory. *Acta Psychologica Sinica, 50*(7), 727–738.

Yeung, N., Nystrom, L. E., Aronson, J. A., & Cohen, J. D. (2006). Between-task competition and cognitive control in task switching. *Journal of Neuroscience: the official journal of the Society for Neuroscience, 26*(5), 1429–1438.

Zhao, X., Wang, H., & Maes, J. H. R. (2018). Training and transfer effects of extensive task-switching training in students. *Psychological Research*. 1–15.

Zinke, K., Einert, M., Pfennig, L., & Kliegel, M. (2012). Plasticity of executive control through task switching training in adolescents. *Frontiers in Human Neuroscience, 6*(41).

Plasticity of Executive Function: Study of Task-Switching Training

WANG Ziyu[1,2]; KONG Ziye[1,2]; ZHU Rongjuan[1,2]; YOU Xuqun[1,2]

([1]*School of Psychology, Shaanxi Normal University, Xi'an* 710062, *China*)

([2]*Key Laboratory for Behavior and Cognitive Neuroscience of Shaanxi Province, Shaanxi Normal University, Xi'an* 710062, *China*)

Abstract: The task-switching training is one of the approaches used to improve executive functions. Different paradigms are used to study the effects of training. While, few studies have investigated that the task-switching training could reduce switch cost and improve the performance of other cognitive tasks. On the other hand, the effects could be maintained for a certain period of time. However, some studies did not find significant transfer effect. Therefore, training efficiency is also

affected by age, participation's other executive function components, cognitive flexibility, and strategy. Moreover, task-switching training may improve the ability of set-shifting through three ways: improve the ability to resolve task-setting conflicts, increase the participation of the frontal-parietal network, and establish bottom-up automatic control. Future research should standardize the existing research methods and procedures, consider the task switching training from the unity and diverse perspective. Research also needs to look for more flexible training methods, such as tDCS.
Key words: shifting; executive functions; task switching training